(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2017 年 7 月 6 日 (06.07.2017)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2017/113233 A1

(51) 国际专利分类号:
A61B 5/055 (2006.01) *G01R 33/56* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2015/099966

(22) 国际申请日: 2015 年 12 月 30 日 (30.12.2015)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: **中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(72) 发明人: **郑海荣 (ZHENG, Hairong)**; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 **刘新 (LIU, Xin)**; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 **程传力 (CHENG, Chuanli)**; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 **邹超 (ZOU, Chao)**; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: **北京三友知识产权代理有限公司 (BEIJING SANYOU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.)**; 中国北京市金融街 35 号国际企业大厦 A 座 16 层, Beijing 100033 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ,

[见续页]

(54) **Title**: MAGNETIC RESONANCE CHEMICAL SHIFT ENCODING IMAGING METHOD, APPARATUS, AND DEVICE

(54) **发明名称** : 一种磁共振化学位移编码成像方法、装置及设备

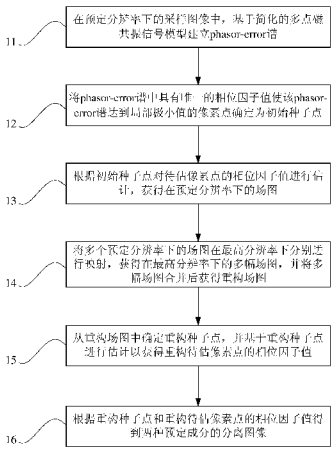

图 1

11 IN A SAMPLING IMAGE AT A PREDETERMINED RESOLUTION, ESTABLISH A PHASOR-ERROR SPECTRUM ON THE BASIS OF A SIMPLIFIED MULTI-POINT MAGNETIC RESONANCE SIGNAL MODEL

12 DETERMINE THAT A PIXEL POINT HAVING A UNIQUE PHASE FACTOR VALUE AND ENABLING THE PHASOR-ERROR SPECTRUM TO REACH A LOCAL MINIMUM VALUE IS AN INITIAL SEED POINT

13 ON THE BASIS OF THE INITIAL SEED POINT, ESTIMATE THE PHASE FACTOR VALUE OF PIXEL POINTS TO BE ESTIMATED, AND OBTAIN FIELD MAPS AT THE PREDETERMINED RESOLUTION

14 AT THE HIGHEST RESOLUTION, MAP THE PLURALITY OF FIELD MAPS OF THE PREDETERMINED RESOLUTION TO OBTAIN A PLURALITY OF FIELD MAPS OF THE HIGHEST RESOLUTION, AND MERGE SAID PLURALITY OF FIELD MAPS TO OBTAIN A RECONSTRUCTED FIELD MAP

15 DETERMINE A RECONSTRUCTED SEED POINT FROM THE RECONSTRUCTED FIELD MAP, AND BASED ON THE RECONSTRUCTED SEED POINT, IMPLEMENT ESTIMATION TO ACQUIRE THE PHASE FACTOR VALUE OF RECONSTRUCTED PIXEL POINTS TO BE ESTIMATED

16 ON THE BASIS OF THE PHASE FACTOR VALUES OF THE RECONSTRUCTED SEED POINT AND THE RECONSTRUCTED PIXEL POINTS TO BE ESTIMATED, OBTAIN SEPARATED IMAGES OF TWO PREDETERMINED COMPONENTS

(57) **Abstract**: A magnetic resonance chemical shift encoding imaging method, apparatus, and device, relating to the technical field of magnetic resonance imaging. The method comprises: in a phasor-error spectrum established on the basis of a simplified multi-point magnetic resonance signal model, determining that a pixel point having a unique phase factor value and enabling the phasor-error spectrum to reach a local minimum value is an initial seed point; on the basis of the initial seed point, estimating the phase factor value of pixel points to be estimated in order to obtain field maps; at the highest resolution, mapping and merging the field maps to obtain a reconstructed field map; determining a reconstructed seed point from the reconstructed field map, and by means of estimating the reconstructed seed point, acquiring the phase factor value of reconstructed pixel points to be estimated; and, on the basis of the phase factor values of the reconstructed seed point and the reconstructed pixel points to be estimated, obtaining separated images of two predetermined components. The present method identifies a region simultaneously containing two components as a seed point, eliminates the deviation at the highest resolution caused by phase factor value jump, and ensures the accuracy of the final seed point selection.

(57) **摘要**:

[见续页]

WO 2017/113233 A1

BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种磁共振化学位移编码成像方法、装置及设备，属于磁共振成像技术领域。所述方法包括：在基于简化的多点磁共振信号模型建立的 phasor-error 谱中将具有唯一相位因子值且使 phasor-error 谱达到局部极小值的像素点确定为初始种子点；根据初始种子点对待估像素点的相位因子值进行估计获得场图；将场图在最高分辨率下进行映射及合并后获得重构场图；从重构场图中确定重构种子点，并通过对重构种子点进行估计以获得重构待估像素点的相位因子值；根据重构种子点和重构待估像素点的相位因子值得到两种预定成分的分离图像。所述方法将同时含有两种成分的区域识别为种子点，排除了最高分辨率下由于相位因子值跳变造成的偏差，保证最终种子点选择的正确性。

一种磁共振化学位移编码成像方法、装置及设备

技术领域

本发明涉及一种磁共振化学位移编码成像方法、装置及设备，属于磁共振成像技术领域。

背景技术

磁共振化学位移编码成像是一种基于组织中各成分之间化学位移差异的成像方法，通过在不同的回波时间采集信号，并通过拟合混合信号模型得到。临床上最常用的化学位移编码成像是水脂分离成像，它主要用于脂肪抑制和脂肪定量等应用中。在分离过程中，通过多回波化学位移编码成像可对 B_0 局部场进行校正，并同时得到纯水和纯脂肪的图像。但是，在 B_0 场偏较大或成像组织空间分离的情况下，传统的多回波化学位移编码成像在估计 B_0 场偏时容易收敛到一个错误的局部极小值，进而造成水脂分反的结果。

多回波化学位移编码成像的原理是假设组织信号由多种不同成分被同时激发得到，并已知各成分相对于水的化学位移，然后拟合信号与各成分、B_0 场图和回波时间(Echo Time，TE)之间的数学模型。实际应用最多的化学位移编码成像是水脂分离成像，即通过多回波信号分离水和脂肪两种成分。

在现有技术中有一种两点水脂分离技术，该技术假设场图分布均匀，选取两个特定的回波时间分别采集水和脂肪质子相位同向和反向的图像，通过简单的相加和/或相减操作得到水图和脂肪图。为了解决 B_0 场不均匀造成的影响，在现有技术中还有一种三点水脂分离技术，即在两点水脂分离技术的基础上，选取第三个回波时间再次采集一幅水和脂肪质子相位反向的图像，该算法的缺点是只能分离水脂信号而不能识别出水或脂肪信号。另外，在现有技术中还有一种迭代最小二乘拟合的水脂分离算法(Iterative Decomposition of water and fat with Echo Asymmetry and Least squares estimation，IDEAL)，该算法对上述信号模型进行线性化处理，然后利用最小二乘法对图像中每个像素单独的进行场图值估计和水脂成分的分离，但是该算法在 B_0 场具有较大不均匀性的情况下易收敛到局部最优解，且在单成分像素中易得到水脂分反的结果。

发明内容

本发明为解决现有的化学位移编码成像方法存在的 B_0 场分布不均匀而造成两者成分分反的结果以及只能分离两种成分信号却不能单独识别其中一种成分的问题，进而提出了一种磁共振化学位移编码成像方法、装置及设备，具体包括如下的技术方案：

一种磁共振化学位移编码成像方法，包括：

在预定分辨率下的采样图像中，基于简化的多点磁共振信号模型建立 phasor-error 谱；

将所述 phasor-error 谱中具有唯一的相位因子值且使所述 phasor-error 谱达到局部极小值的像素点确定为初始种子点；

根据所述初始种子点对待估像素点的相位因子值进行估计，获得在所述预定分辨率下的场图；

将多个预定分辨率下的场图在最高分辨率下分别进行映射，获得在所述最高分辨率下的多幅场图，并将所述多幅场图合并后获得重构场图；

从所述重构场图中确定重构种子点，并基于所述重构种子点进行估计以获得重构待估像素点的相位因子值；

根据所述重构种子点和所述重构待估像素点的相位因子值得到两种预定成分的分离图像。

一种磁共振化学位移编码成像装置，所述装置包括：

相位误差谱建立模块，用于在预定分辨率下的采样图像中，基于简化的多点磁共振信号模型建立 phasor-error 谱；

种子点选取模块，用于将所述 phasor-error 谱中具有唯一的相位因子值且使所述 phasor-error 谱达到局部极小值的像素点确定为初始种子点；

估计模块，用于根据所述初始种子点对待估像素点的相位因子值进行估计，获得在所述预定分辨率下的场图；

场图重构模块，用于将多个预定分辨率下的场图在最高分辨率下分别进行映射，获得在所述最高分辨率下的多幅场图，并将所述多幅场图合并后获得重构场图；

相位因子确定模块，用于从所述重构场图中确定重构种子点，并基于所述重构种子点进行估计以获得重构待估像素点的相位因子值；

成像模块，用于根据所述重构种子点和所述重构待估像素点的相位因子值得到两种预定成分的分离图像。

本发明的有益效果是：通过多分辨率进行场图估计，可在低分辨率下将同时含有两种成分的区域识别为种子点，增加了种子点的数量和分布范围，利用自检验机制将多幅高分辨率的场图进行合并，排除了最高分辨率下由于相位因子值跳变造成的偏差，保证了最终种子点选择的正确性，从而能够对两者成分的信号进行准确的识别。

附图说明

图 1 以示例的方式示出了磁共振化学位移编码成像方法的流程图。

图 2 以示例的方式示出了基于多分辨率最安全路径局部增长的自检验场图估计方法的流程图。

图 3 以示例的方式示出了一个种子点的 phasor-error 谱图，其中的横坐标表示相位因子(phasor)，纵坐标表示对应的拟合误差($err\Phi_B(\pi)$，无量纲)，图中的直线表示阈值、曲线表示拟合误差。

图 4 以示例的方式示出了最安全路径局部增长算法的流程图。

图 5 以示例的方式示出了磁共振化学位移编码成像装置的结构图。

图 6 以示例的方式示出了计算机设备的结构图。

图 7 为实施例一提出的验证所述磁共振化学位移编码成像方法的腹部水脂分离实例图，图中从左向右依次为原始图像、分离脂肪图、分离水图和估计得到的场图。

图 8 为实施例一提出的验证所述磁共振化学位移编码成像方法的脚踝水脂分离实例图，图中从左向右依次为原始图像、分离脂肪图、分离水图和估计得到的场图。

具体实施方式

在现有技术中，为了准确识别水和脂肪信号，研究者提出了多种改进算法，主要分为三类：一是在场图上施加全局平滑约束，如 graph-cut 和 GOOSE 算法，该类算法利用图割的概念对场图进行估计；二是局部增长法，其选取信噪比（signal-to-noise ration，SNR）高且水脂比例接近的像素点作为合理的种子点，然后利用临域场图间的相似性，使用局部增长算法对未估计像素点的正确场图值进行选取；第三类是多分辨率算法，其先在低分辨率图像上进行场图的估计，再利用逐级优化的方法，依次得到较高分辨率、最高分辨率下的场图，并最终得到水脂分离图像。

但上述现有算法均存在其缺点，例如：graph-cut 和 GOOSE 算法在孤立的组织处将失效，因为正确的场图值无法传递到孤立的组织，导致该两种算法的计算效率比较低。

而现有的局部增长法依赖于种子点的选取，错误的种子点将导致分离结果的不准确，并且该算法还依赖于种子点的数目，必须保证每一个孤立的组织中至少含有一个种子点，但该算法只能在低分率的场图上找到种子点，对于其它孤立的组织将不能得到正确的场图值，从而影响局部增长算法的稳定性。现有的多分辨率算法均使用了多分辨率策略，不同分辨率之间具有很高的相关性，高分辨率场图估计的初始值过分依赖于低分辨率的场图值，如果在低分辨率下，场图收敛到一个错误的局部极值或不同分辨率之间的实际场图发生剧烈变化，则上述初始值将使得该高层场图也收敛到一个错误的极小值，并且该错误会被逐层的传递到最高分辨率下并被放大，导致错误的分离结果。

针对上述缺点，本发明提出一种基于多分辨率最安全路径局部增长和自校验场图估计算法的化学位移编码成像方法，以实现正确的场图估计和两种成分分离，该方法在不同分辨率上独立地完成种子点的选取和最安全路径的局部增长，确保得到足够多的种子点，从而避免不同分辨率之间场图的错误传递，然后利用自检验机制将不同分辨率下得到的场图进行合并，以确保最终种子点的正确性，最后再次进行局部增长，得到正确的场图估计值。

结合图 1 所示，本发明提出的磁共振化学位移编码成像方法包括：

步骤 11，在预定分辨率下的采样图像中，基于简化的多点磁共振信号模型建立 phasor-error 谱。

其中，本步骤可将二维的原始图像进行低通滤波并根据预先定义的欠采样系数进行欠采样，得到不同的低分辨率下的二维原始图像，然后获得在不同的低分辨率下的二维原始图像中的每个像素点的 phasor-error 谱，根据该 phasor-error 谱确定使每个像素点达到局部极小值的相位因子值。

步骤 12，将 phasor-error 谱中具有唯一的相位因子值使该 phasor-error 谱达到局部极小值的像素点确定为初始种子点。

其中，本步骤根据 phasor-error 谱确定使每个像素点达到局部极小值的相位因子值。若该像素点的信噪比大于预定值且具有唯一的相位因子值，则可将该像素点确定为种子点。

可选的，确定像素点的具有唯一的相位因子值的过程包括：

若该像素点只有一个局部极小值使得拟合误差小于预定值，则将该局部极小值确定为该像素点的唯一的相位因子值。

步骤 13，根据初始种子点对待估像素点的相位因子值进行估计，获得在预定分辨率下的场图。

其中，对待估像素点的相位因子值进行估计的过程包括：

若待估像素点包括有多个局部极小值，则将拟合误差小于预定值的局部极小值确定为该待估像素点的多个相位因子值；

从该待估像素点的多个相位因子值中选取与相邻种子点的相位因子值具有最大相似性的相位因子值作为该待估像素点的相位因子值。

可选的，可通过最安全路径局部增长算法确定该待估像素点的相位因子值，其过程包括：

选取幅值大于第一阈值的待估像素点建立第一待估像素点集合；

获取第一待估像素点集合中每个待估像素点的相邻种子点中两两之间的相位差，选取最大相位差小于第二阈值的待估像素点建立第二待估像素点集合；

将第二待估像素点集合中的待估像素点按相邻种子点的个数进行降序排列，选取预定数量的待估像素点建立第三待估像素点集合；

获取第三待估像素点集合中的待估像素点与相邻种子点之间最大的相位相似性，并将相似性大于第三阈值的待估像素点的相位因子值作为待估像素点的相位因子值；

将相似性大于第三阈值的待估像素点添加为种子点对第一待估像素点集合中的待估像素点进行估计，直至第一待估像素点集合中的待估像素点的相邻种子点数为零。

可选的，本步骤还可对第一待估像素点集合中的待估像素点的相位因子值进行确定，其过程包括：

通过将第一阈值减小预定量确定第四待估像素点集合，并确定第四待估像素点集合中的待估像素点的相位因子值，直至第一阈值减为零；

将第一待估像素点集合中未确定相位因子值的待估像素点的相位因子值确定为相邻种子点相位因子值的平均值。

步骤 14，将多个预定分辨率下的场图在最高分辨率下分别进行映射，获得在最高分辨率下的多幅场图，并将多幅场图合并后获得重构场图。

其中的映射可以是以步骤 13 中获得的在预定分辨率下的场图为初始值，对最高分辨率下的场图进行选取，其过程可以包括：

获取最高分辨率下每一个重构待估像素点的所有相位因子值与对应的预定分辨率下的像素点的相位因子值之间的相位相似性，将具有最高相似性的相位因子值确定为该重构待估像素点的相位因子值。

步骤 15，从重构场图中确定重构种子点，并基于重构种子点进行估计以获得重构待估像素点的相位因子值。

其中，确定该重构待估像素点的相位因子值的过程可以包括：

若重构待估像素点在所有的场图中均具有相同的相位因子值，则将重构待估像素点确定为新的种子点以及将相同的相位因子值确定为重构待估像素点的相位因子值；

若重构待估像素点在所有的场图中具有不同的相位因子值，则将重构待估像素点重新设定为待估像素点以及将不同的相位因子值确定为相位因子候选值；

以新的种子点为起点，并可采用如步骤 13 所述的估计方法在最高分辨率下对相位因子候选值进行估计，以确定重构待估像素点的相位因子值。

步骤 16，根据重构种子点和重构待估像素点的相位因子值得到两种预定成分的分离图像。

在确定重构种子点和重构待估像素点的相位因子值后，即可得到水和脂肪的分离图像。由于横向弛豫时间 T_2*的存在可能会影响化学位移编码成像的重建精度，因此本实施例还可以包括对化学位移编码成像进行校正的过程，该过程包括：

根据重构场图与在重构场图的基础上通过全局搜索获得的横向弛豫时间对该化学位移编码成像进行校正。

采用本实施例提出的技术方案，通过多分辨率进行场图估计，可在低分辨率下将同时含有两种成分的区域识别为种子点，增加了种子点的数量和分布范围，利用自检验机制将多幅高分辨率的场图进行合并，排除了最高分辨率下由于相位因子值跳变造成的偏差，保证了最终种子点选择的正确性，从而能够对两者成分的信号进行准确的识别。

下面通过具体的实施例对所述的磁共振化学位移编码成像方法进行详细说明：

实施例一

含有两种成分(本实施例以水和脂肪为例)的组织图像的简化多点 MR(Magnetic Resonance，磁共振)信号模型可以表示为：

$$S_n = (\rho_w + \rho_f \sum_{p=1}^{P} \alpha_p e^{-i2\pi f_{F,p} TE_n}) e^{-i2\pi f_B TE_n}, n = 1, 2, \ldots N, N \geq 3$$

其中，S_n 表示在回波时间 TE_n 下的信号强度，N 表示回波个数，在本实施例中可选 $N\geq 3$；ρ_w 和 ρ_f 分别表示水和脂肪的强度值，为复数；脂肪含有 P 个波峰分量，每个分量对应的相对幅度是 α_p，满足 $\sum_{p=1}^{P}\alpha_p=1$，$f_{F,p}$ 表示第 p 个波峰分量相对于水的化学位移；f_B 表示 B_0 局部场，为了避免相位解卷绕，本实施例引入相位因子（phase factor，phasor）p_B：

$$p_B = e^{i2\pi f_B \Delta TE} = e^{i\Phi_B}$$

其中，$\Delta TE = TE_2 - TE_1$；Φ_B 表示 p_B 的相位，范围是[-π，π]，代表了 ΔTE 时间内由于 f_B 造成的相位累积。

由上式可知，p_B 是关于 f_B 的周期函数，具有相同 p_B 的不同 f_B 在水脂图像重建过程中可得相同的结果，因此在本实施例中，没有估计实际的 B_0 局部场 f_B，只估计得到相位因子 p_B，其同样表征了 B_0 局部场的不均匀性，在本实施例中称为场图。

由上式可知，相位因子 p_B 可通过估计[-π，π]内的 Φ_B 得到。根据变量投影方法（Variable Projection，VARPRO），Φ_B 可使用最小二乘法解得：

$$\Phi_B = \arg\min err(\Phi_B) = \arg\min \left\| (I - AA^{+})\psi(\Phi_B)\mathbf{S} \right\|$$

其中，$\mathbf{S}=[S_1, S_2, \cdots, S_N]^T$，$A=[A_1; A_2; \cdots; A_N]$，$A_n = \left[1 \quad \sum_{p=1}^{P}\alpha_p e^{-i2\pi f_{F,p} TE_n}\right]$，$A^{+}=(A^TA)^{-1}A^T$，$\psi(\Phi_B)=\mathrm{diag}(1, e^{i\Phi_B}, \cdots, e^{i\frac{(TE_N - TE_1)}{\Delta TE}\Phi_B})$，$I$ 是 $N\times N$ 矩阵。

$err(\Phi_B)$ 描述了相位因子 p_B 的相位 Φ_B 和拟合误差之间的关系，表示为 phasor-error 谱，其定义为不同相位因子值下对应的模型拟合误差。其局部极小值表征了该像素点对应的相位因子值，对于大多数的像素点，其相位因子值并非一个。

为了从多个像素点中选取正确的相位因子值，本实施例提出了一种基于多分辨率最安全路径局部增长的自检验场图估计方法，实现了对相位因子值的正确选取，结合图2所示，所述方法包括：

步骤21，选取初始种子点。

本实施例将二维的原始图像进行低通滤波并根据预先定义的欠采样系数对该原始图像进行欠采样，得到不同的低分辨率下的二维原始图像。例如，可将欠采样系数确定为[3 3]、[5 5]、[16 8]和[8 16]，则可得到四组低分辨率下的原始图像。对每个低分辨率下的图像中的每一个像素点描绘其phasor-error谱，根据该phasor-error谱确定使该像素点达到局部极小值的相位因子值，若该像素点满足以下两个条件则可被确定为种子点：

①具有大于预定值的信噪比：$m > th$，其中m表示该像素点的幅值，th表示信噪比阈值。

②具有唯一的相位因子值：以A_{max}和A_{min}分别表示phasor-error谱的最大值和最小值，以α表示拟合误差倍数，则可设定阈值为A_{min} + α*(A_{max} - A_{min})，如果只有一个局部极小值使得拟合误差小于该阈值，则认为对应的像素点具有唯一的相位因子值；否则同时保留该像素点其它小于该阈值的局部解，则该像素点具有多个相位因子值。

其中，像素点的幅值m可由多种计算方式得到，例如：

$m = \max\{\text{abs}(S_1),\text{abs}(S_2), \ldots,\text{abs}(S_N)\}$或$m = \text{abs}(S_1)+\text{abs}(S_2)+\text{abs}(S_N)$等。

对于th和α的选取既要排除SNR低和具有多个极小值解的种子点，又要保证得到足够多的种子点，一个候选取值可为：th取所有像素幅值的第98个百分位值的0.2倍，α取0.4。

图3所示的为一个种子点的phasor-error谱，该种子点只有一个相位因子值。对于其余相位因子值多于一个的像素点（本实施例称之为待估像素点，其多个相位因子值合称为相位因子候选值）则需要从以下的步骤选取出正确的解。

作为可选的，本步骤对上述四组低分辨图像进行种子点的选取。需要说明的是，上述的四组低分辨图像仅为举例，其它低分辨率若可适用于本发明，也应包含在本发明的保护范围以内，并以引用方式包含于此。

步骤22，通过最安全路径局部增长算法确定待估像素点的相位因子值。

在初始种子点的基础上，本实施例采用如下的局部增长算法完成待估像素点的相位因子估计，其过程可以包括：从待估像素点的相位因子候选值中选取与相邻种子点的相位因子值具有最大相似性的候选值作为当前待估像素点的相位因子值，即：

$p_B = \arg\max\{D_1, D_2, \ldots, D_S\}$，其中$D_s$表示phasor相似性，定义为：

$$D_s = \frac{\sum_{k=1}^{K} m_k \cos\left(\text{angle}(p_{B,s} * \text{conj}(p_{B,k}))\right)}{\sum_{k=1}^{K} m_k}$$

其中，K表示当前待估像素点的八邻域(若将当前待估像素点及相邻域划分为九宫格的格式，则除当前待估像素点所在区域以外的八个相邻的区域即为八邻域)内的种子点个数；m_k表示第k个种子点的幅值，相应的相位因子值为$p_{B,k}$，$p_{B,s}$表示当前待估像素点的一个相位因子候选值；conj(.)表示取复共轭；angle(.)表示取角度。

可选的，结合图4所示，本实施例提出的最安全路径局部增长算法如下：

步骤221，从预定幅值图M中计算获得每个待估像素点的幅值；

步骤222，设定幅值阈值th_m，寻找幅值大于th_m的待估像素点建立集合，该集合记为

U；

步骤223，计算集合U中所有待估像素点相邻种子点中两两之间的phasor相位差，如果最大相位差小于阈值th_p，则保留相应的待估像素点，将保留的待估像素点建立集合，该集合记为V；如果最大相位差大于阈值th_p，则剔除相应的待估像素点；

步骤224，将集合V中所有待估像素点按照其相邻种子点的个数K进行降序排列；

步骤225，选取该降序排列的前Q个待估像素点建立集合，该集合记为L；

步骤226，对集合L中所有待估像素点分别计算其与相邻种子点之间最大的phasor相似性；

步骤227，如果该相似性大于阈值th_D，则选取相应的候选相位因子值作为待估像素点的相位因子值，并将其添加为种子点；否则，该像素点仍为待估像素点；

步骤228，重复步骤223至步骤227，直至K=0；

步骤229，减小幅值阈值th_m；

步骤230，重复步骤222至步骤229，直至幅值阈值th_m=0；

步骤231，对于步骤223和步骤227中未处理的待估像素点，其相位因子值选择相邻种子点相位因子值的平均值。

上述最安全路径局部增长算法在每一个低分辨率下单独进行。

幅值图M中每个像素点的幅值可定义为$m = \max\{\text{abs}(S_1),\text{abs}(S_2), \ldots,\text{abs}(S_N)\}$或$m = \text{abs}(S_1)+\text{abs}(S_2)+\text{abs}(S_N)$等；幅值阈值$th_m$的选取方法可有多种，比如依据所有像素幅值的百分位值进行选取；阈值th_D和阈值th_p可以根据候选场图的光滑性确定其数值，例如选取0.9和$\pi/2$。待估像素点相邻种子点可定义为其四邻域或八邻域内的种子点；Q值可选取集合V中待估像素点个数的1/4。

步骤23，建立最高分辨率的场图。

以步骤22中的最安全路径局部增长算法获得的低分辨率场图为初始值，对最高分辨率下的场图进行选取，本实施例中称之为场图映射，其实现过程可以包括：计算最高分辨率下每个像素点的所有相位因子候选值与其对应的低分辨率下的像素点的相位因子值之间的phasor相似性，具有最高相似性的候选值即为当前像素点的相位因子值。

本实施例在多个不同的低分辨率分别进行种子点的选取和局部增长算法的估计，因此本步骤中也得到了多个最高分辨率的场图，然后利用自检验机制将上述多个场图进行合并得到一幅场图，其实现过程可以包括：若一个像素点在所有的场图中具有相同的相位因子值，则将该像素点选定为新的种子点；若一个像素点在所有的场图中具有不同的

值，则将该像素点重新设定为待估像素点，该待估像素点的相位因子值为相位因子候选值中的一个。

利用上述的最安全路径局部增长算法，以新的种子点为起点完成最高分辨率下的待估像素点的相位因子值选取，得到最终的场图。该步骤的原理与上述在低分辨下的局部增长算法相同，因此在本实施例中不再赘述。

步骤24，校正及水图和脂肪图的重建。

横向弛豫时间T_2*的存在可能会影响水图和脂肪图的重建精度，因此本步骤是对T_2*进行校正。通常情况下，T_2*的校正与场图的估计是不相关的，且T_2*的估计不存在多极值现象，因此在完成场图估计的基础上，通过全局搜索求得使下式达到最小值的T_2*：

$$T_2^* = \arg\min \left\| (I - EA(EA)^+ \psi(\Phi_B)\mathbf{S} \right\|$$

其中，$E = \mathrm{diag}(e^{-T_2^*/TE_1}, e^{-T_2^*/TE_2}, \cdots, e^{-T_2^*/TE_N})$。利用得到的场图和$T_2$*，再通过下式计算得到水图和脂肪图：

$$\begin{bmatrix} W \\ F \end{bmatrix} = (EA)^+ \psi(\Phi_B)\hat{\mathbf{S}}$$

其中，*W*和*F*分别为计算得到的水图和脂肪图，为复数。

为了验证本实施例提出的磁共振化学位移编码成像方法的可行性，下面分别在两种体组织实验进了测试，其中的测试对象分别为腹部和脚踝。其中，腹部的回波时间 TE = 1.208/3.212/5.216/7.220/9.224/11.228ms (等间距)，矩阵大小 matrix = 256×256×5，主磁场 B_0 = 1.5T；脚踝的回波时间 TE = 1.356/3.672/4.444/7.532ms (不等间距)，矩阵大小 matrix = 256×256×2，主磁场 B_0 = 3T。实验数据的处理环境是具有 Intel E5-2650 v2 CPU 和 64GB RAM 的工作站，采用的数据处理软件是 MATLAB。图 7 和图 8 所示的是根据腹部和脚踝的其中一层的分离结果，可以看出在体组织实验中，得到的水图和脂肪图中无明显分离错误的组织。

需要说明的是，本发明提出的磁共振化学位移编码成像方法不仅可以用于水脂分离成像，也可以用于分离其它化学位移成份的应用中，其中的区别仅仅在于含有两种成分的简化MR信号模型中输入对应的化学位移值。

本实施例提出的磁共振化学位移编码成像方法可在低信噪比的区域也具有较高的鲁棒性；利用多分辨率进行场图估计和局部增长估计策略，相比于传统的单分辨率局部增长算法，可在低分辨率下将同时含有水和脂肪的区域识别为种子点，增加了种子点的数量和分布范围；低分辨下的场图估计和局部增长是相互独立的，即各个低分辨率之间的处理没有任何交叠，这就消除了不同分辨率之间可能存在的相位因子值跳变的影响；利

用自检验机制将多幅高分辨率的场图进行合并，排除了最高分辨率下由于相位因子值跳变造成的偏差，保证了最终种子点选择的正确性；经过算法优化，本实施例提出的方法具有较高的运行效率。

本发明还提出了一种磁共振化学位移编码成像装置，结合图 5 所示，所述装置包括：

相位误差谱建立模块 51，用于在预定分辨率下的采样图像中，基于简化的多点磁共振信号模型建立 phasor-error 谱；

种子点选取模块 52，用于将 phasor-error 谱中具有唯一的相位因子值且使该 phasor-error 谱达到局部极小值的像素点确定为初始种子点；

估计模块 53，用于根据所述初始种子点对待估像素点的相位因子值进行估计，获得在所述预定分辨率下的场图；

场图重构模块 54，用于将多个预定分辨率下的场图在最高分辨率下分别进行映射，获得在所述最高分辨率下的多幅场图，并将所述多幅场图合并后获得重构场图；

相位因子确定模块 55，用于从所述重构场图中确定重构种子点，并基于所述重构种子点进行估计以获得重构待估像素点的相位因子值；

成像模块 56，用于根据所述重构种子点和所述重构待估像素点的相位因子值得到两种预定成分的分离图像。

可选的，在种子点选取模块中 52 中包括：

极小值确定子模块，用于获得预定分辨率图像中的每一个像素点的 phasor-error 谱，根据 phasor-error 谱确定使像素点达到局部极小值的相位因子值；

种子点确定子模块，用于若像素点的信噪比大于预定值且具有唯一的相位因子值，则将像素点确定为初始种子点。

其中，该种子点确定子模块可用于若像素点只有一个局部极小值使得拟合误差小于预定值，则将局部极小值确定为像素点的唯一的相位因子值。

可选的，在估计模块 53 中包括：

第一集合建立子模块，用于选取幅值大于第一阈值的待估像素点建立第一待估像素点集合；

第二集合建立子模块，用于获取第一待估像素点集合中每个待估像素点的相邻种子点中两两之间的相位差，选取最大相位差小于第二阈值的待估像素点建立第二待估像素点集合；

第三集合建立子模块，用于将第二待估像素点集合中的待估像素点按相邻种子点的个数进行降序排列，选取预定数量的待估像素点建立第三待估像素点集合；

第一相位因子确定子模块，用于获取第三待估像素点集合中的待估像素点与相邻种子点之间最大的相位相似性，并将相似性大于第三阈值的待估像素点的相位因子值作为待估像素点的相位因子值；

第一估计子模块，用于将相似性大于第三阈值的待估像素点添加为种子点对第一待估像素点集合中的待估像素点进行估计，直至第一待估像素点集合中的待估像素点的相邻种子点数为零；

第四集合建立模块，用于通过将第一阈值减小预定量以确定第四待估像素点集合；

第二相位因子确定子模块，用于确定第四待估像素点集合中的待估像素点的相位因子值，直至第一阈值减为零；

第三相位因子确定子模块，用于将第一待估像素点集合中未确定相位因子值的待估像素点的相位因子值确定为相邻种子点的相位因子值的平均值。

可选的，在场图重构模块 54 中包括：

第四相位因子确定子模块，用于获取最高分辨率下每一个重构待估像素点的所有相位因子值与对应的预定分辨率下的待估像素点的相位因子值之间的相位相似性，将最高相似性的相位因子值确定为重构待估像素点的相位因子值。

可选的，在相位因子确定模块 55 中包括：

第五相位因子确定子模块，用于若重构待估像素点在所有的场图中均具有相同的相位因子值，则将重构待估像素点确定为新的种子点以及将相同的相位因子值确定为重构待估像素点的相位因子值；

第六相位因子确定子模块，用于若重构待估像素点在所有的场图中具有不同的相位因子值，则将重构待估像素点重新设定为待估像素点以及将不同的相位因子值确定为相位因子候选值；

第七相位因子确定子模块，用于以新的种子点为起点在最高分辨率下对所述相位因子候选值进行估计，以确定重构待估像素点的相位因子值。

采用本实施例提出的磁共振化学位移编码成像装置，通过多分辨率进行场图估计，可在低分辨率下将同时含有两种成分的区域识别为种子点，增加了种子点的数量和分布范围，利用自检验机制将多幅高分辨率的场图进行合并，排除了最高分辨率下由于相位

因子值跳变造成的偏差，保证了最终种子点选择的正确性，从而能够对两者成分的信号进行准确的识别。

本发明还提出了一种计算机设备，该计算机设备包括处理器和存储有计算机可读指令的存储器，该处理器被配置来通过执行该计算机可读指令以执行如实施例一所述的方法。

其中，图 6 是能够执行图 4 所示的指令流程并以图 5 的示例性磁共振化学位移编码成像装置的示例性处理器平台 600 的框图，该处理器平台 600 可以是服务器、个人计算机或任何其它类型的计算设备。

图 6 所示的处理器平台 600 包括处理器 612。例如，处理器 612 可以由来自任何期望家庭或制造商的一个或者更多个微处理器或控制器来实现。

处理器 612 包括本地存储器 613（例如，高速缓冲存储器），并且经由总线 618 与主存储器进行通信，主存储器包括易失性存储器 614 和非易失性存储器 616。易失性存储器 614 可以由同步动态随机存取存储器（SDRAM）、动态随机存取存储器（DRAM）、RAM 总线（RAMBUS）动态随机存取存储器（RDRAM）和/或任何其它类型的随机存取存储器装置来实现。非易失性存储器 616 可以由闪存和/或任何其它期望类型的存储设备来实现。对易失性存储器 614 和非易失性存储器 616 的访问是由存储器控制器来控制的。

处理器平台 600 还可以包括一个或更多个大容量存储装置 621，用于存储软件和数据。这样的大容量存储装置 621 的示例包括软盘驱动器、硬盘驱动器、光盘驱动器和数字多功能光盘（DVD）驱动器。图 6 所示的编码指令 631 可以被存储在大容量存储装置 621、易失性存储器 614、非易失性存储器 616 和/或可移动存储介质如 CD 或 DVD 上。

本具体实施方式是对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述，其中的实施例仅仅是本发明的一部分实施例，而并不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域技术人员在没有经过创造性劳动的前提下所获得的所有其它实施方式都属于本发明的保护范围。

权利要求书

1、一种磁共振化学位移编码成像方法，其特征在于，包括：

在预定分辨率下的采样图像中，基于简化的多点磁共振信号模型建立相位因子-拟合误差 phasor-error 谱；

将所述 phasor-error 谱中具有唯一的相位因子值且使所述 phasor-error 谱达到局部极小值的像素点确定为初始种子点；

根据所述初始种子点对待估像素点的相位因子值进行估计，获得在所述预定分辨率下的场图；

将多个预定分辨率下的场图在最高分辨率下分别进行映射，获得在所述最高分辨率下的多幅场图，并将所述多幅场图合并后获得重构场图；

从所述重构场图中确定重构种子点，并基于所述重构种子点进行估计以获得重构待估像素点的相位因子值；

根据所述重构种子点和所述重构待估像素点的相位因子值得到两种预定成分的分离图像。

2、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，将具有唯一相位因子值且使 phasor-error 谱达到局部极小值的像素点确定为初始种子点包括：

获得所述预定分辨率图像中的每一个像素点的相位因子-拟合误差 phasor-error 谱，根据所述 phasor-error 谱确定使所述像素点达到局部极小值的相位因子值；

若所述像素点的信噪比大于预定值且具有唯一的相位因子值，则将所述像素点确定为初始种子点。

3、如权利要求 2 所述的方法，其特征在于，确定所述像素点的具有唯一的相位因子值包括：

若所述像素点只有一个局部极小值使得拟合误差小于预定值，则将所述局部极小值确定为所述像素点的唯一的相位因子值。

4、如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，根据所述初始种子点对待估像素点的相位因子值进行估计包括：

若所述待估像素点包括有多个局部极小值，则将拟合误差小于预定值的局部极小值确定为所述待估像素点的多个相位因子值；

从所述待估像素点的多个相位因子值中选取与相邻种子点的相位因子值具有最大相似性的相位因子值作为所述待估像素点的相位因子值。

5、如权利要求 4 所述的方法，其特征在于，根据所述初始种子点对待估像素点的相位因子值进行估计还包括：

选取幅值大于第一阈值的待估像素点建立第一待估像素点集合；

获取所述第一待估像素点集合中每个待估像素点的相邻种子点中两两之间的相位差，选取最大相位差小于第二阈值的待估像素点建立第二待估像素点集合；

将所述第二待估像素点集合中的待估像素点按所述相邻种子点的个数进行降序排列，选取预定数量的待估像素点建立第三待估像素点集合；

获取所述第三待估像素点集合中的待估像素点与所述相邻种子点之间最大的相位相似性，并将所述相似性大于第三阈值的待估像素点的相位因子值作为待估像素点的相位因子值；

将所述相似性大于第三阈值的待估像素点添加为种子点对所述第一待估像素点集合中的待估像素点进行估计，直至所述第一待估像素点集合中的待估像素点的相邻种子点数为零。

6、如权利要求 5 所述的方法，其特征在于，根据所述初始种子点对待估像素点的相位因子值进行估计还包括：

通过将所述第一阈值减小预定量以确定第四待估像素点集合，并确定所述第四待估像素点集合中的待估像素点的相位因子值，直至所述第一阈值减为零；

将所述第一待估像素点集合中未确定相位因子值的待估像素点的相位因子值确定为相邻种子点的相位因子值的平均值。

7、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，将多个预定分辨率下的场图在最高分辨率下分别进行映射包括：

获取最高分辨率下每一个重构待估像素点的所有相位因子值与对应的预定分辨率下的像素点的相位因子值之间的相位相似性，将最高相似性的相位因子值确定为所述重构待估像素点的相位因子值。

8、如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，确定所述重构待估像素点的相位因子值包括：

若所述重构待估像素点在所有的场图中均具有相同的相位因子值，则将所述重构待估像素点确定为新的种子点以及将所述相同的相位因子值确定为所述重构待估像素点的相位因子值；

若所述重构待估像素点在所有的场图中具有不同的相位因子值，则将所述重构待估像素点重新设定为待估像素点以及将所述不同的相位因子值确定为相位因子候选值。

9、如权利要求 8 所述的方法，其特征在于，确定所述重构待估像素点的相位因子值还包括：

以所述新的种子点为起点在最高分辨率下对所述相位因子候选值进行估计，以确定所述重构待估像素点的相位因子值。

10、如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括：

根据所述重构场图与在所述重构场图的基础上通过全局搜索获得的横向弛豫时间对所述化学位移编码成像进行校正。

11、一种磁共振化学位移编码成像装置，其特征在于，所述装置包括：

相位误差谱建立模块，用于在预定分辨率下的采样图像中，基于简化的多点磁共振信号模型建立相位因子-拟合误差 phasor-error 谱；

种子点选取模块，用于将所述 phasor-error 谱中具有唯一的相位因子值且使所述 phasor-error 谱达到局部极小值的像素点确定为初始种子点；

估计模块，用于根据所述初始种子点对待估像素点的相位因子值进行估计，获得在所述预定分辨率下的场图；

场图重构模块，用于将多个预定分辨率下的场图在最高分辨率下分别进行映射，获得在所述最高分辨率下的多幅场图，并将所述多幅场图合并后获得重构场图；

相位因子确定模块，用于从所述重构场图中确定重构种子点，并基于所述重构种子点进行估计以获得重构待估像素点的相位因子值；

成像模块，用于根据所述重构种子点和所述重构待估像素点的相位因子值得到两种预定成分的分离图像。

12、如权利要求 11 所述的装置，其特征在于，在所述种子点选取模块中包括：

极小值确定子模块，用于获得所述预定分辨率图像中的每一个像素点的相位因子-拟合误差 phasor-error 谱，根据所述 phasor-error 谱确定使所述像素点达到局部极小值的相位因子值；

种子点确定子模块，用于若所述像素点的信噪比大于预定值且具有唯一的相位因子值，则将所述像素点确定为初始种子点。

13、如权利要求 12 所述的装置，其特征在于，所述种子点确定子模块用于若所述像素点只有一个局部极小值使得拟合误差小于预定值，则将所述局部极小值确定为所述像素点的唯一的相位因子值。

14、如权利要求 13 所述的装置，其特征在于，在所述估计模块中包括：

第一集合建立子模块，用于选取幅值大于第一阈值的待估像素点建立第一待估像素点集合；

第二集合建立子模块，用于获取所述第一待估像素点集合中每个待估像素点的相邻种子点中两两之间的相位差，选取最大相位差小于第二阈值的待估像素点建立第二待估像素点集合；

第三集合建立子模块，用于将所述第二待估像素点集合中的待估像素点按所述相邻种子点的个数进行降序排列，选取预定数量的待估像素点建立第三待估像素点集合；

第一相位因子确定子模块，用于获取所述第三待估像素点集合中的待估像素点与所述相邻种子点之间最大的相位相似性，并将所述相似性大于第三阈值的待估像素点的相位因子值作为待估像素点的相位因子值；

第一估计子模块，用于将所述相似性大于第三阈值的待估像素点作为新的种子点对所述第一待估像素点集合中的待估像素点进行估计，直至所述第一待估像素点集合中的待估像素点的相邻种子点数为零。

15、如权利要求 14 所述的装置，其特征在于，在所述估计模块中还包括：

第四集合建立模块，用于通过将所述第一阈值减小预定量以确定第四待估像素点集合；

第二相位因子确定子模块，用于确定所述第四待估像素点集合中的待估像素点的相位因子值，直至所述第一阈值减为零；

第三相位因子确定子模块，用于将所述第一待估像素点集合中未确定相位因子值的待估像素点的相位因子值确定为相邻种子点的相位因子值的平均值。

16、如权利要求 11 所述的装置，其特征在于，在所述场图重构模块中包括：

第四相位因子确定子模块，用于获取最高分辨率下每一个重构待估像素点的所有相位因子值与对应的预定分辨率下的待估像素点的相位因子值之间的相位相似性，将最高相似性的相位因子值确定为所述重构待估像素点的相位因子值。

17、如权利要求 16 所述的装置，其特征在于，在所述相位因子确定模块中包括：

第五相位因子确定子模块，用于若所述重构待估像素点在所有的场图中均具有相同的相位因子值，则将所述重构待估像素点确定为新的种子点以及将所述相同的相位因子值确定为所述重构待估像素点的相位因子值；

第六相位因子确定子模块，用于若所述重构待估像素点在所有的场图中具有不同的相位因子值，则将所述重构待估像素点重新设定为待估像素点以及将所述不同的相位因子值确定为相位因子候选值；

第七相位因子确定子模块，用于以所述新的种子点为起点在最高分辨率下对所述相位因子候选值进行估计，以确定所述重构待估像素点的相位因子值。

18、一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质包括计算机指令，当所述计算机指令被执行时，如权利要求 1 所述的方法被执行。

19、一种设备，其特征在于，所述设备包括：

处理器；和

包括存储有计算机可读指令的存储器，所述处理器被配置来通过执行所述计算机可读指令以执行如权利要求 1 所述的方法。

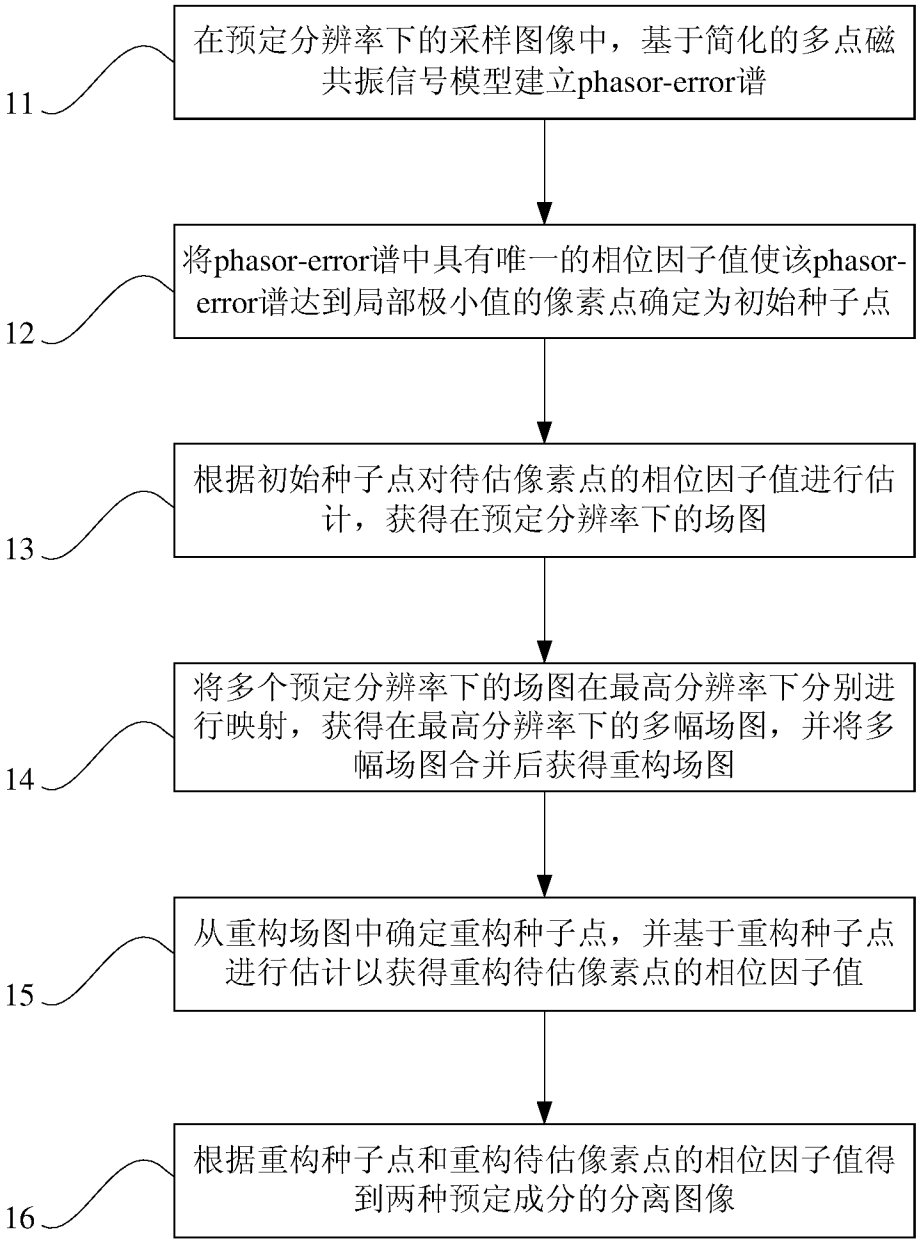
在预定分辨率下的采样图像中，基于简化的多点磁共振信号模型建立phasor-error谱
11
将phasor-error谱中具有唯一的相位因子值使该phasor-error谱达到局部极小值的像素点确定为初始种子点
12
根据初始种子点对待估像素点的相位因子值进行估计，获得在预定分辨率下的场图
13
将多个预定分辨率下的场图在最高分辨率下分别进行映射，获得在最高分辨率下的多幅场图，并将多幅场图合并后获得重构场图
14
从重构场图中确定重构种子点，并基于重构种子点进行估计以获得重构待估像素点的相位因子值
15
根据重构种子点和重构待估像素点的相位因子值得到两种预定成分的分离图像
16

图 1

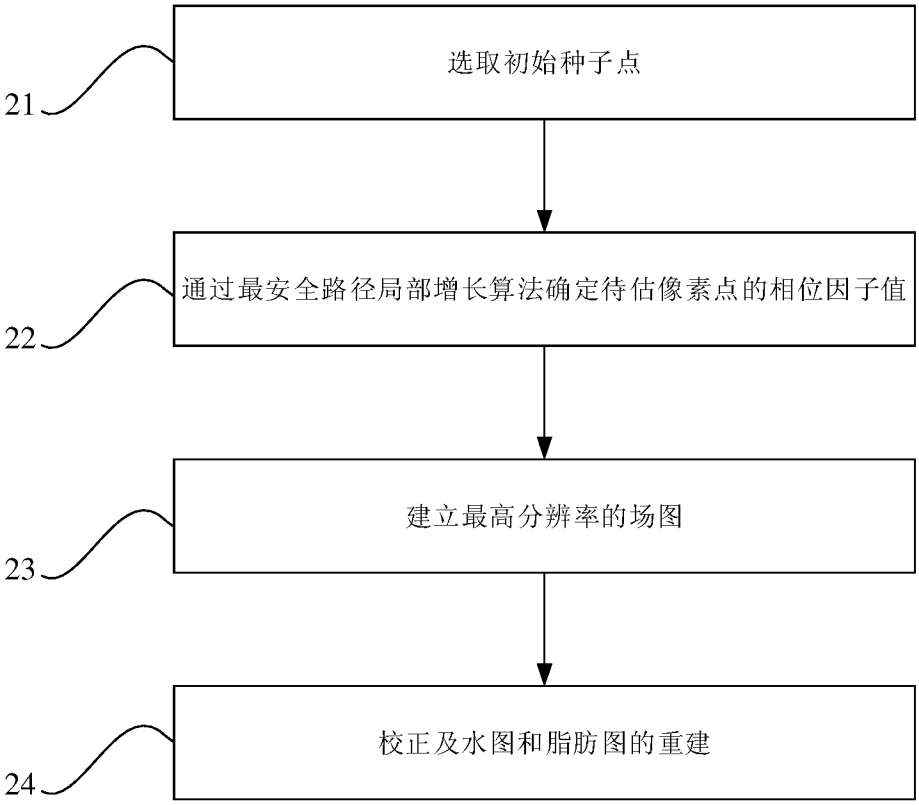
选取初始种子点
21
通过最安全路径局部增长算法确定待估像素点的相位因子值
22
建立最高分辨率的场图
23
校正及水图和脂肪图的重建
24

图 2

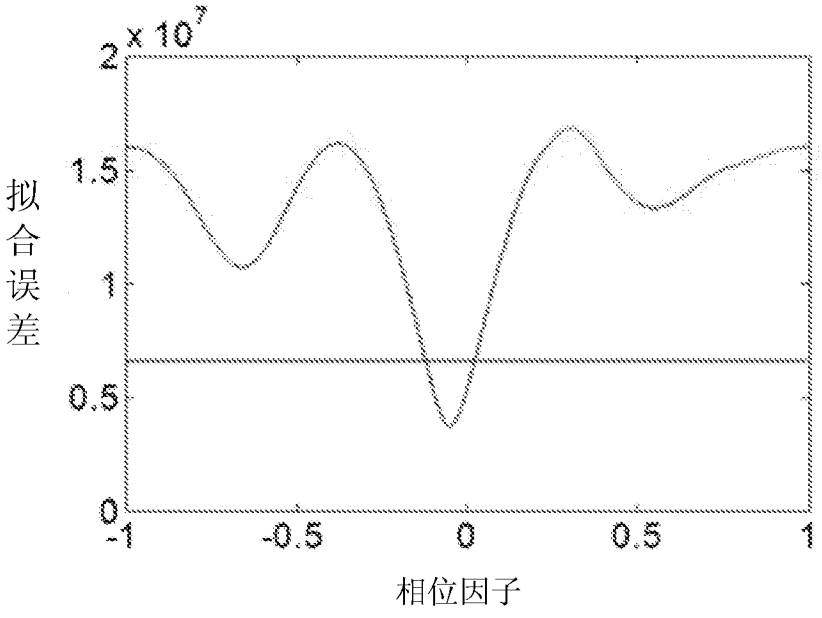
x 10^7
2
1.5
1
0.5
0
拟合误差
-1
-0.5
0
0.5
1
相位因子

图 3

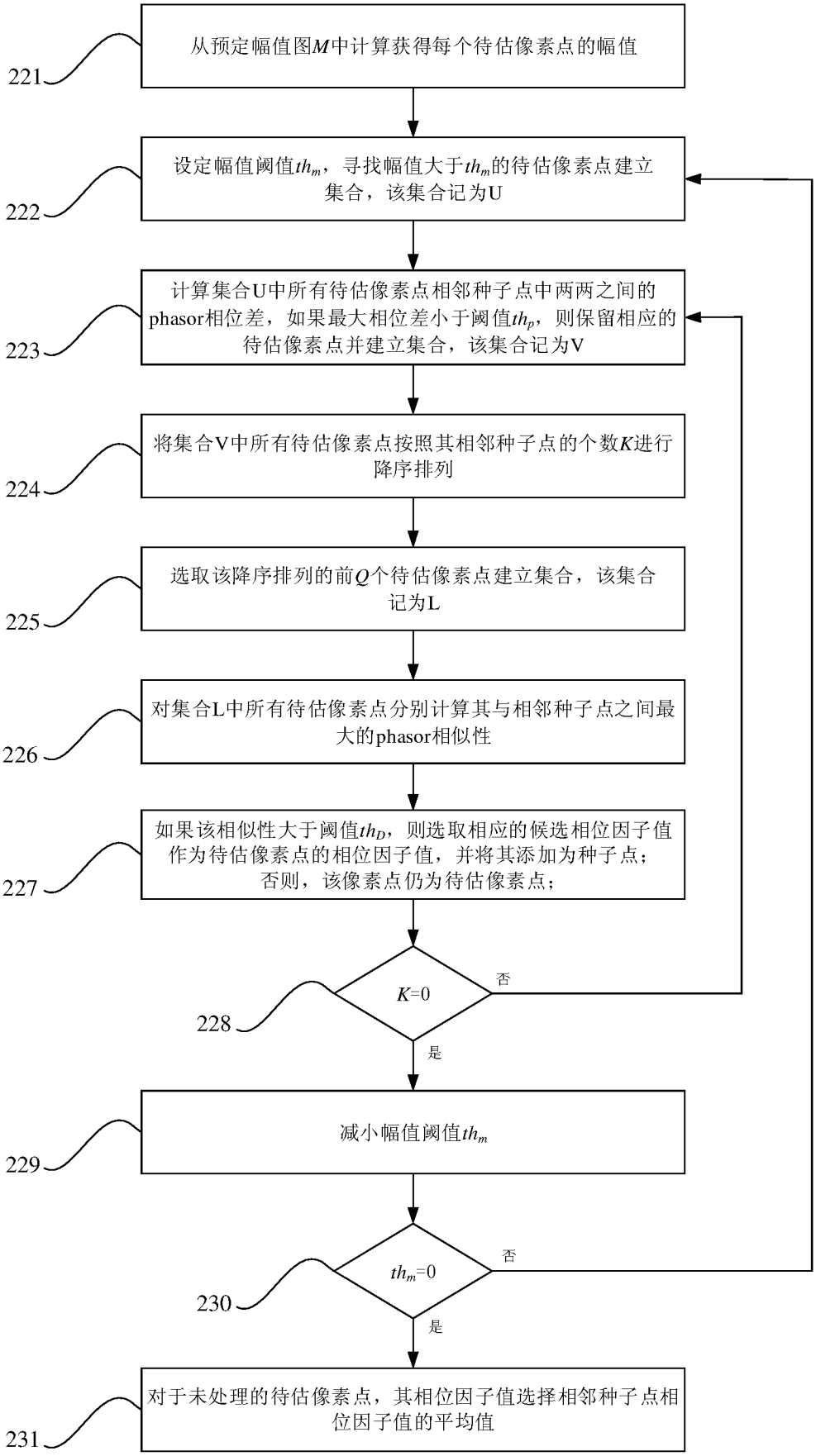
从预定幅值图M中计算获得每个待估像素点的幅值
221
设定幅值阈值th_m，寻找幅值大于th_m的待估像素点建立集合，该集合记为U
222
计算集合U中所有待估像素点相邻种子点中两两之间的phasor相位差，如果最大相位差小于阈值th_p，则保留相应的待估像素点并建立集合，该集合记为V
223
将集合V中所有待估像素点按照其相邻种子点的个数K进行降序排列
224
选取该降序排列的前Q个待估像素点建立集合，该集合记为L
225
对集合L中所有待估像素点分别计算其与相邻种子点之间最大的phasor相似性
226
如果该相似性大于阈值th_D，则选取相应的候选相位因子值作为待估像素点的相位因子值，并将其添加为种子点；否则，该像素点仍为待估像素点；
227
K=0
228
否
是
减小幅值阈值th_m
229
th_m=0
230
否
是
对于未处理的待估像素点，其相位因子值选择相邻种子点相位因子值的平均值
231

图 4

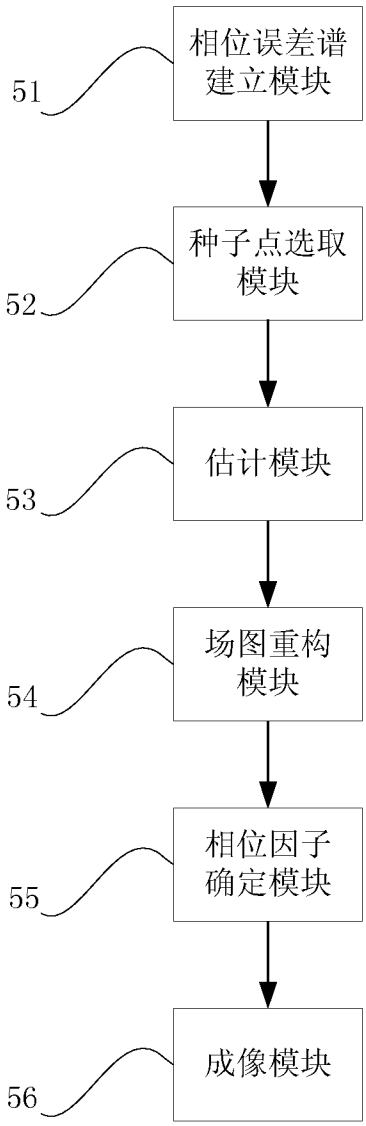
相位误差谱建立模块
51
种子点选取模块
52
估计模块
53
场图重构模块
54
相位因子确定模块
55
成像模块
56

图 5

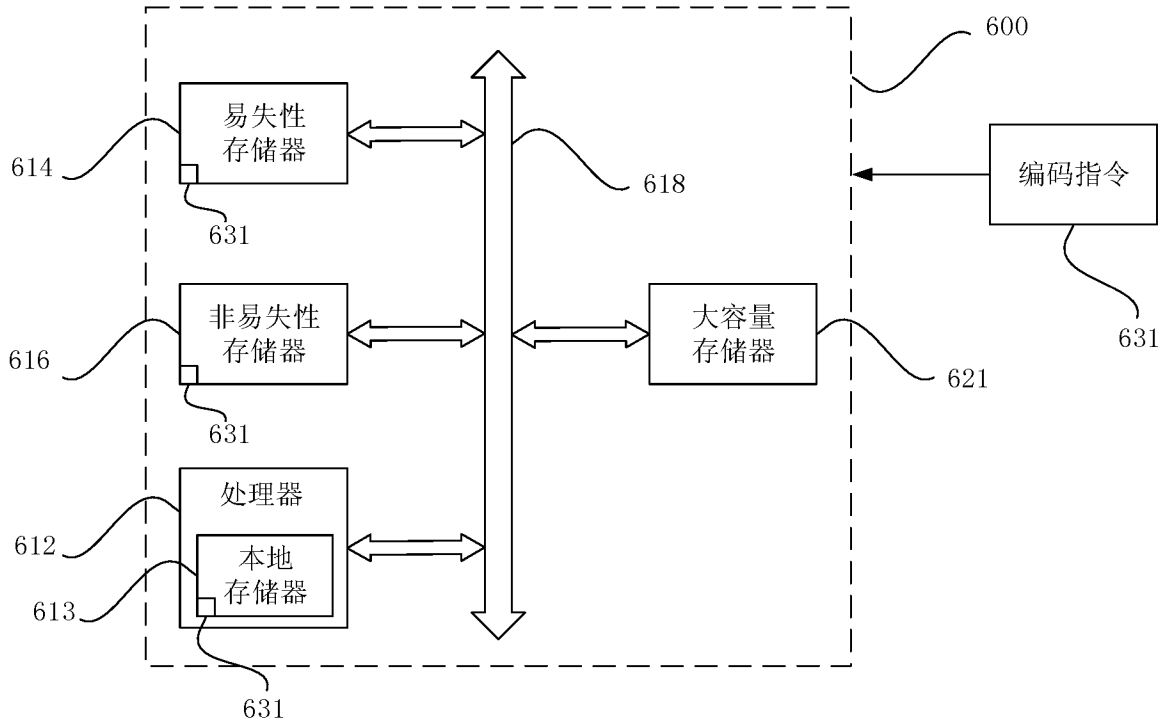
600
易失性
存储器
614
631
618
编码指令
631
非易失性
存储器
616
631
大容量
存储器
621
处理器
612
本地
存储器
613
631

图 6

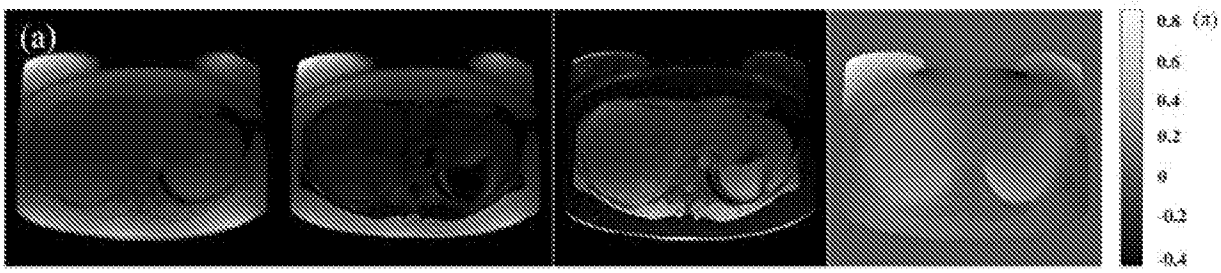

图 7

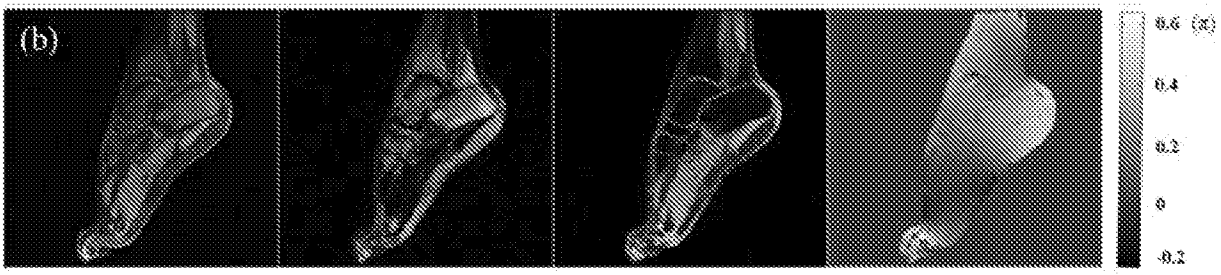

图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/099966

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B 5/055 (2006.01) i; G01R 33/56 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B 5/-; G01R 33/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: phase factor, chemical shift, fitting error, seed point; INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY; resolution+, correct+, shift, error, phasor, Dixon, chemical, water, fat, ET, voxel+, argmin, echo time?, seed+, initial+, phase

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2005165296 A1 (MA, J.), 28 July 2005 (28.07.2005), description, paragraphs [0013], [0016]-[0022] and [0051], and figures 1, 2, 5 and 8	1-19
A	WO 2006121827 A2 (BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM), 16 November 2006 (16.11.2006), the whole document	1-19
A	WO 2013130587 A1 (THE BOARD OF REGENTS OF THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM), 06 September 2013 (06.09.2013), the whole document	1-19
A	CN 102369454 A (ROYAL DUTCH PHILIPS ELECTRONICS LTD.), 07 March 2012 (07.03.2012), the whole document	1-19
A	CN 1385711 A (SIEMENS AG), 18 December 2002 (18.12.2002), the whole document	1-19
A	CN 103140167 A (KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N.V.), 05 June 2013 (05.06.2013), the whole document	1-19

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
24 August 2016 (24.08.2016)	**30 September 2016 (30.09.2016)**
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer **CHEN, Fei** Telephone No.: (86-10) **53311147**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/099966

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103608693 A (KONINKLIJKE PHILIPS N.V.), 26 February 2014 (26.02.2014), the whole document	1-19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/099966

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 2005165296 A1	28 July 2005	WO 2005055136 A2	16 June 2005
		US 7227359 B2	05 June 2007
WO 2006121827 A2	16 November 2006	US 2009093704 A1	09 April 2009
		US 7863895 B2	04 January 2011
WO 2013130587 A1	06 September 2013	US 2015161784 A1	11 June 2015
CN 102369454 A	07 March 2012	US 8774475 B2	08 July 2014
		WO 2010113048 A1	07 October 2010
		EP 2414860 A1	08 February 2012
		RU 2521751 C2	10 July 2014
		JP 2012521841 A	20 September 2012
		RU 2011143800 A	10 May 2013
		US 2012008847 A1	12 January 2012
		CN 102369454 B	28 January 2015
		JP 5676559 B2	25 February 2015
		EP 2414860 B1	17 April 2013
CN 1385711 A	18 December 2002	CN 1328593 C	25 July 2007
		JP 2002345779 A	03 December 2002
		US 2002193680 A1	19 December 2002
		KR 100909498 B1	27 July 2009
		US 6841997 B2	11 January 2005
		DE 10122874 B4	23 September 2004
		JP 4203259 B2	24 December 2008
		DE 10122874 A1	21 November 2002
		KR 20020086289 A	18 November 2002
CN 103140167 A	05 June 2013	WO 2012038886 A1	29 March 2012
		CN 103140167 B	20 January 2016
		JP 5914488 B2	11 May 2016
		EP 2618731 A1	31 July 2013
		US 2013176027 A1	11 July 2013
		JP 2013537083 A	30 September 2013
		EP 2431760 A1	21 March 2012
CN 103608693 A	26 February 2014	US 2014043022 A1	13 February 2014
		JP 2014511750 A	19 May 2014
		EP 2515136 A1	24 October 2012
		EP 2891895 A1	08 July 2015
		WO 2012143847 A2	26 October 2012
		EP 2699927 A2	26 February 2014

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2015/099966

A. 主题的分类

A61B 5/055(2006.01)i; G01R 33/56(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

A61B5/-; G01R33/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNPAT,CNKI,WPI,EPODOC:相位因子，化学位移，化学偏移，种子，拟合误差，水，分辨率，脂肪，种子点，先进技术研究院，resolution+，correct+，shift，error，phasor，Dixon，chemical，water，fat，ET，voxel+，argmin，echo time?，seed+，initial+，phase

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 2005165296 A1 (MA, JINGFEI) 2005年 7月 28日 (2005-07-28) 说明书第13，16-22，51段、图1-2，5，8	1-19
A	WO 2006121827 A2 (BOARD OF REGENTS, THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM) 2006年 11月 16日 (2006-11-16) 全文	1-19
A	WO 2013130587 A1 (THE BOARD OF REGENTS OF THE UNIVERSITY OF TEXAS SYSTEM) 2013年 9月 6日 (2013-09-06) 全文	1-19
A	CN 102369454 A (皇家飞利浦电子股份有限公司) 2012年 3月 7日 (2012-03-07) 全文	1-19
A	CN 1385711 A (西门子公司) 2002年 12月 18日 (2002-12-18) 全文	1-19
A	CN 103140167 A (皇家飞利浦电子股份有限公司) 2013年 6月 5日 (2013-06-05) 全文	1-19

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2016年 8月 24日	2016年 9月 30日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	陈飞
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)53311147

表 PCT/ISA/210 (第2页) (2009年7月)

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 103608693 A (皇家飞利浦有限公司) 2014年 2月 26日 (2014 - 02 - 26) 全文	1-19

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2015/099966

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
US	2005165296	A1	2005年 7月 28日	WO	2005055136	A2	2005年 6月 16日
				US	7227359	B2	2007年 6月 5日
WO	2006121827	A2	2006年 11月 16日	US	2009093704	A1	2009年 4月 9日
				US	7863895	B2	2011年 1月 4日
WO	2013130587	A1	2013年 9月 6日	US	2015161784	A1	2015年 6月 11日
CN	102369454	A	2012年 3月 7日	US	8774475	B2	2014年 7月 8日
				WO	2010113048	A1	2010年 10月 7日
				EP	2414860	A1	2012年 2月 8日
				RU	2521751	C2	2014年 7月 10日
				JP	2012521841	A	2012年 9月 20日
				RU	2011143800	A	2013年 5月 10日
				US	2012008847	A1	2012年 1月 12日
				CN	102369454	B	2015年 1月 28日
				JP	5676559	B2	2015年 2月 25日
				EP	2414860	B1	2013年 4月 17日
CN	1385711	A	2002年 12月 18日	CN	1328593	C	2007年 7月 25日
				JP	2002345779	A	2002年 12月 3日
				US	2002193680	A1	2002年 12月 19日
				KR	100909498	B1	2009年 7月 27日
				US	6841997	B2	2005年 1月 11日
				DE	10122874	B4	2004年 9月 23日
				JP	4203259	B2	2008年 12月 24日
				DE	10122874	A1	2002年 11月 21日
				KR	20020086289	A	2002年 11月 18日
CN	103140167	A	2013年 6月 5日	WO	2012038886	A1	2012年 3月 29日
				CN	103140167	B	2016年 1月 20日
				JP	5914488	B2	2016年 5月 11日
				EP	2618731	A1	2013年 7月 31日
				US	2013176027	A1	2013年 7月 11日
				JP	2013537083	A	2013年 9月 30日
				EP	2431760	A1	2012年 3月 21日
CN	103608693	A	2014年 2月 26日	US	2014043022	A1	2014年 2月 13日
				JP	2014511750	A	2014年 5月 19日
				EP	2515136	A1	2012年 10月 24日
				EP	2891895	A1	2015年 7月 8日
				WO	2012143847	A2	2012年 10月 26日
				EP	2699927	A2	2014年 2月 26日